我国生鲜乳中黄曲霉毒素 M1 污染风险分析

李松励[1,2,3]　闵　力[4]　高亚男[2,3]　王加启[1,2,3*]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院，长沙 410128；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193；农业部奶及奶制品质量监督检验测试中心（北京），北京 100193；3.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193；4.广东省农业科学院动物科学研究所，畜禽育种国家重点实验室，广州 510640）

摘　要：本试验旨在系统地评估我国生鲜乳中黄曲霉毒素 M1（AFM1）的污染情况。试验采集了我国奶业主产区（河北、河南、黑龙江、山东和内蒙古）5 080 份生鲜乳样品，采用酶联免疫吸附测定的方法进行 AFM1 浓度检测。结果显示：5 080 份样品中，234 个样品检测出 AFM1(生鲜乳 AFM1 污染发生率为 4.6%)，均未超出中国和美国的限量标准(500 ng/L)，仅 36 个（0.7%）生鲜乳样品超出了欧盟的限量标准(50 ng/L)。与对生鲜乳中 AFM1 污染状况对比分析可知，中国的生鲜乳质量安全正在不断的提高；不同季节污染状况对比发现，生鲜乳中 AFM1 污染发生率在冬季为 11.2%，远高于春季、夏季和秋季(分别为 1.5%、2.5%和 4.5%)。因此，有必要在冬季重点关注 AFM1 的污染防控，合理规范化青贮饲料和精料的储存和使用。本研究将有助于未来的风险分析和对中国生鲜乳中 AFM1 污染的管理。

中图分类号：　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

据联合国粮农组织（Food and Agriculture Organisation，FAO）估计，全球约 25%的粮食作物被霉菌毒素污染，已严重威胁食品质量安全[1]。2011 年，我国牛奶中黄曲霉毒素 M1（AFM1）超标事件引起了政府、学者和消费者对牛奶中霉菌毒素污染的关注。AFM1 是牛奶质量安全风险评估锁定的主要危害因子，对人体产生免疫毒性、肾毒性、肝毒性等生物危害，可能导致人致畸、致癌、诱发突变等[2]。国际上，亚洲、美洲、非洲等国家都相继报道

收稿日期：2018-05-30

基金项目：现代农业产业技术体系专项资金(CARS-36)；公益性行业（农业）科研专项(201403071)；中国农业科学院科技创新工程项目(ASTIP-IAS12)；奶产品中重要因子筛查识别及评价（2017ywf-zd-21）

作者简介：李松励(1983-)，女，吉林通化人，博士研究生，从事奶产品质量安全与风险评估研究。Email: lisongli@caas.cn

*通信作者：王加启，研究员，博士生导师，E-mail: wang-jia-qi@263.net

了奶及奶产品中的 AFM1 污染现象。研究者检测了巴基斯坦某地区水牛奶和牛奶中 AFM1 含量，检出率分别为 34.5%和 37.5%[3]。2007 年 Alonso 等[4]对从阿根廷境内采集的生鲜牛乳样品进行了检测，结果表明，有 11%的样品 AFM1 含量超出了欧盟限量标准（50 ng/L），含量范围为 10.0～70.0 ng/L。2008 年 Motawee 等[5]对埃及境内不同物种的奶样进行了检测，结果表明，50%的水牛奶和 30%的牛奶样品中 AFM1 含量超出了欧盟限量标准（50 ng/L）。

我国生鲜乳中 AFM1 风险评估监测是一项长期的工作，对其结果的分析研究有助于更多的国内外人士了解我国奶制品的质量安全现状。本试验采集了我国奶业主产区的生鲜乳样品共计 5 080 份，对其 AFM1 进行检测，旨在系统地评估我国生鲜乳中 AFM1 风险情况，为提升我国奶业质量安全提供帮助。

1 材料与方法

1.1 样品信息

2016 年春季（4 月份）、夏季（8 月份）、秋季（10 月份）和冬季（2 月份）从河北省、河南省、黑龙江省、山东省和内蒙古自治区 5 个主产区（奶牛存栏量＞50 万头奶牛）共采集生鲜乳样品 5 080 份，其分布情况如表 1 所示。所有生鲜乳样品均是从这些地区奶站的奶罐车中收集。为了确保收集到的生鲜乳样品具有代表性，本试验采用了随机抽样方式[6]，结合河北、河南、黑龙江、山东和内蒙古 5 个主产区的奶牛养殖分布、生鲜乳生产情况制订采样方案，保障样品均匀覆盖各区域。

表 1　我国奶业主产区 2016 年采集的 4 个季度生鲜乳样品的分布情况

Table 1　Distribution of raw milk samples collected in major milk-producing areas of China during the four seasons of 2016

季节 Season	奶业主产区 Major milk-producing areas					
	河北省 *Hebei* province	黑龙江省 *Heilongjiang* province	河南省 *Henan* province	内蒙古自治区 Inner Mongolia province	山东省 *Shandong* province	汇总 Total
春季 Spring	300	230	140	370	430	1 470
夏季 Summer	100	320	180	170	220	990
秋季 Autumn	320	470	230	330	230	1 580

冬季 Winter	280	130	250	210	170	1 040
汇总 Total	1 000	1 150	800	1 080	1 050	5 080

1.2 样品前处理

采集的生鲜乳样品在 4 ℃进行保存，所有样品均在保质期内（5 d 内）完成 AFM1 浓度的检测。样品测定前在 4 ℃的环境中进行 3 000 r/min 离心 10 min，去除乳脂，取上清液进行测定。

1.3 生鲜乳中 AFM1 含量的检测

采用酶联免疫吸附测定（ELISA）的方法生鲜乳中的 AFM1 浓度进行检测。本试验中采用的试剂盒（RIDASCREEN Aflatoxin M1 Test Kit, R-Biopharm AG,德国）的检出限（LOD）为 5 ng/L，其中的标准品浓度分别为 0、5、10、20、40 和 80 ng/L，检测步骤按照试剂盒的说明书进行。

当样品中 AFM1 浓度于检出限（5 ng/L）时判定为未检出；当样品中 AFM1 浓度高于试剂盒中的最高浓度 80 ng/L 时，对样品进行稀释后再次测定。对试剂盒的相关参数进行验证分析，包含：检出限=5 ng/L、定量限（LOQ）=8.5 ng/L、回收率=86%～121%、相对标准偏差（RSDr）＜10%，确保试验的准确性。

1.4 统计分析

所有生鲜乳样品均进行 2 次 AFM1 含量测定，以平均值±标准差（mean±SD）表示。采用 SPSS 19.0 的 Mann-Whitney U 非参数检验进行统计分析。

2 结果与分析

表 2 显示了 2016 年我国奶业主产区（河北省、河南省、黑龙江省、山东省和内蒙古自治区）AFM1 污染情况。在河北省，仅有 4 个样品（0.40%）检测出 AFM1，低于欧盟（50 ng/L）和我国（500 ng/L）的限量标准。在黑龙江省未发现有 AFM1 污染的生鲜乳，内蒙古自治区和山东省分别有 3 个（0.28%）和 7 个（0.67%）样品检测出 AFM1，而在河南省的生鲜乳样品中 AFM1 污染情况较常见（n=220），污染发生率为 27.5%。本试验所采集的 5 080 份生鲜乳样品中，有 234 个样品检测出 AFM1，污染发生率为 4.6%。2016 年，我国奶业主产区生鲜乳样品中 AFM1 的检出率按照由低至高的顺序依次为黑龙江省（0）、内蒙古自治区（0.28%）、河北省（0.40%）、山东省（0.67%）和河南省（27.5%）。

所有的生鲜乳样品中，AFM1 浓度最高值为 273 ng/L，来源于河南省。所有生鲜乳样品的 AFM1 浓度均未超过我国的限量标准（500 ng/L）；而河南省有 34 个样品、山东省有 2 个样品的 AFM1 浓度超过了欧盟的限量标准（50 ng/L），此 36 个生鲜乳样品（0.7%）不适合作为出口的奶及奶制品。其他省份的生鲜乳样品 AFM1 浓度均低于欧盟的限量标准（50 ng/L）。

试验进一步对 4 个季度生鲜乳的 AFM1 污染情况进行了分析。结果表明：在我国奶业主产区（黑龙江省、内蒙古自治区、河北省、山东省和河南省），冬季的生鲜乳中 AFM1 污染发生率最高（11.2%），其次是秋季（4.5%）、夏季（2.5%）和春季（1.5%）；冬季占 4 个季度 AFM1 污染样品的 49.6%（图 1）。

3 讨　论

2010 年，本课题组的郑楠等[7]和韩荣伟等[8]分别开展了不同地区 360 份生鲜乳样品和 200 份生鲜乳样品中 AFM1 污染情况的研究，结果显示 AFM1 检出率分别为 78.1%和 32.5%，所有样品均未超出中国和美国的限量标准(500 ng/L)。此外，本课题组还跟踪分析了 2013—2015 年中国南部、北部、东北和西部生鲜乳中 AFM1 的污染情况[9]。该试验从中国南部（重庆市、福建省、广东省、江苏省、上海市、四川省）、北部（北京市、天津市、河北省、山东省）、东北（黑龙江省、内蒙古自治区）和西部（甘肃省、陕西省、新疆维吾尔自治区）共采集了 1 550 份生鲜乳样品，采用高效液相色谱法（检出限为 10 ng/L）检测样品中的 AFM1 浓度（表 3）。在 2013 年的 366 个样品中，AFM1 污染发生率为 21.0%，其浓度范围是 10～240 ng/L，其中有 11.7%的样品超出了欧盟的限量标准（50 ng/L）。在 2014 年的 624 个样品中，AFM1 污染发生率为 28.5%，其浓度范围是 10～250 ng/L，其中有 7.7%的样品超出了欧盟的限量标准（50 ng/L）。在 2015 年的 560 个样品中，AFM1 污染发生率为 14.1%，其浓度范围是 10～144 ng/L，其中有 1.8%的样品超出了欧盟的限量标准（50 ng/L）。2013—2015 年的生鲜乳样品 AFM1 浓度均未超出中国和美国的限量标准(500 ng/L)，且呈现 AFM1 浓度逐年降低的规律。针对不同区域的分析显示：我国南部区域生鲜乳中 AFM1 污染的问题更为突出，2013—2015 年中超出欧盟限量标准的比例分别为 32.5%、10.8%和 4.0%，均高于其他区域；2013—2015 年我国东北区域的生鲜乳样品未发现有 AFM1 污染的情况。

为了进一步分析当今我国生鲜乳中 AFM1 污染情况，本试验选取我国奶业主产区（河

北省、黑龙江省、河南省、内蒙古自治区和山东省）奶牛数量大于 50 万头的牧场，采集了4 个季度的共 5 080 份生鲜乳样品，通过检测分析 2016 年度中国奶业主产区生鲜乳中 AFM1 的污染情况，基于全国范围内的大样本量的数据解析，更全面、准确地评估我国奶制品质量安全情况。试验结果表明：5 080 个样品中，234 个样品检测出 AFM1(AFM1 污染发生率为 4.6%)，仅 0.7%的生鲜乳样品超出了欧盟的限量标准(50 ng/L)，并没有样品超出中国和美国的限量标准(500 ng/L)。2016 年的检测结果远低于 2010 年的检测结果（78.1%[7]和 32.5%[8]），这表明中国的生鲜乳质量安全正在不断的提高。这得益于中国政府对奶及奶制品质量安全的高度重视，目前奶及奶制品质量安全监测体系包含了良好生产规范（GMPs）、卫生标准操作规程（SSOPs）和危害分析与关键控制点管理（HACCP）等一系列的安全控制措施。这些措施的实施能够显著地降低生鲜乳中的 AFM1 污染，提高质量安全和经济效益[10,11]。2013—2015 年奶业创新团队连续 3 年开展奶产品质量安全风险评估工作，3 年的工作结果形成并发布了我国首个《中国奶产品质量安全研究报告》，用数据对我国现行奶产品质量安全水平做了最好的诠释和分析，我国奶产品质量为历史最好水平。与国内其他食品相比，我国奶制品的不合格比例远低于整个食品行业的不合格比例，我国奶制品是名副其实的安全食品。国家食品药品监督管理总局公布的数据显示，2015 年国家食品安全监督抽检中合格食品 166 769 批次，不合格食品 5 541 批次，合格率 96.8%，不合格率 3.2%；奶制品中合格产品 9 306 批次，不合格产品 44 批次，合格率 99.5%，不合格率 0.5%。与国际奶产品相比，当前我国奶产品质量安全整体上也已经达到较高水平。在欧盟官方的食品与饲料快速预警系统（RASFF）2013 年年度报告中，食品不合格通报 3 137 起，其中奶产品相关 43 起，占 1.4%；2014 年年度报告中，食品不合格通报 3 097 起，其中奶产品相关 66 起，占 2.1%。而 2015 年，我国国家食品药品监督管理总局发布报告显示，我国不合格食品 5 541 批次，其中不合格奶产品 44 批次，不合格奶产品仅占不合格食品的 0.8%。这充分说明中国本土牛奶的质量安全已基本达到了国际先进水平。

我们将本次试验的结果与世界上其他国家生鲜乳 AFM1 污染情况进行比较和分析（表 4）。尽管各个国家 AFM1 污染的发生率不同，生鲜乳中 AFM1 污染是一个全球普遍存在的问题。我国 AFM1 污染发生率（4.6%）高于新西兰（0）[12]和英国（3.0%）[13]，低于摩洛哥（27.1%）[14]、埃及（38.0%）[15]、克罗地亚（＞46.1%）[16]、印度尼西亚（57.5%）[17]、巴基斯坦（71.0%）[18]、黎巴嫩（73.7%）[19]、尼日利亚（75.0%）[20]、苏丹（95.5%）[21]、巴西（100.0%）[22]、

伊朗（100.0%）[23]和意大利（100.0%）[24]。本试验中，中国仅有1.1%的生鲜乳样品超出了欧盟的限量标准(50 ng/L)，与欧洲食品安全局的检测结果（0.4%超出欧盟限量标准）相近[25]，这一结果要优于摩洛哥（8.3%）[14]、巴西（14.0%）[22]、埃及（20.0%）[15]、克罗地亚（27.8%）[16]、意大利（44.0%）[24]、黎巴嫩（44.7%）[19]、尼日利亚（48.0%）[20]、巴基斯坦（58.0%）[18]、伊朗（80.6%）[23]和苏丹（83.3%）[21]。本试验的结果不仅能够全方面、准确地评估我国生鲜乳中AFM1污染情况，还为后续开展的生鲜乳中AFM1污染的管理和风险分析提供了数据支撑。生鲜乳的AFM1污染是一个全球性的问题，应当引起AFM1高发生率和高超标率（以欧盟标准为参照）国家的足够的重视。生鲜乳中的AFM1主要来源于饲料的黄曲霉毒素B1（AFB1）污染。当奶牛采食了受AFB1污染的饲料后，AFB1经肝脏代谢羟基化形成奶中特有的代谢产物AFM1危害人体健康。研究人员指出，在发达国家，良好的储存措施和严格的规定使得生鲜乳中的AFM1污染降低[26]。因此，有必要严格实施良好的储存措施，饲料原料和成品料应储存在仓库中，干草等粗饲料应存放在干草棚中。仓库要通风、阴凉、干燥、清洁、没有霉积料。干草棚应具有防雨、通风、防潮、防日晒的功能。加强日常饲料检测，饲料仓库要定期清理、消毒，对于发霉变质的饲料进行脱霉或无害化处理，切断黄曲霉毒素污染源。此外，尽量缩短产品库存时间，青贮饲料应现取现用，应及时盖上青贮窖口或者扎紧青贮袋口，以防发生二次发酵。在AFB1污染较多的情况下，合理使用黄曲霉毒素吸附剂，阻止、限制其从胃肠道吸收进入奶牛体内，从而在源头上降低饲料原料中AFB1的浓度[27]。同时，严格执行奶及奶制品质量安全监测体系，从而保障奶及奶制品的质量安全[26,28]。

值得注意的是，通过对4个季度污染情况进行分析，我们发现生鲜乳中AFM1污染发生率在冬季为11.2%，远高于春季、夏季和秋季(分别为1.5%、2.5%和4.5%)。本课题组前期的研究结果显示，我国的长江三角洲地区的生鲜乳中AFM1污染的发生率呈现明显的季节规律，冬季的污染发生率最高[29]。此外，河北省唐山市的生鲜乳质量安全监测结果指出冬季具有较高风险的生鲜乳AFM1污染[30]。我国的这些调研结果与世界其他国家的调研结果相一致，这些国家包含了克罗地亚[16]、巴基斯坦[22]、伊朗[31]、土耳其[32]、泰国[33]和塞尔维亚[34]。冬季缺乏新鲜的青绿饲料，较多地使用青贮饲料，而青贮饲料被许多学者报道易受黄曲霉毒素污染[35]。此外，奶牛在冬季产奶量高，为了提高营养水平，较多的使用精料，如玉米、花生柏和棉籽柏等，而这些精料容易受黄曲霉毒素污染[35]。当青贮饲料和精料储

存不当时，在冬季更容易发生黄曲霉毒素的污染[36]。因此，有必要在冬季重点关注 AFM1 的污染防控，合理规范化青贮饲料和精料的储存和使用。

4 结　论

① 通过对 2016 年中国奶业主产区生鲜乳中 AFM1 污染情况进行分析可知，中国的生鲜乳质量安全正在不断的提高，并没有样品超出中国和美国的限量标准(500 ng/L)。

②通过对 4 个季度生鲜乳中 AFM1 污染情况进行分析发现，有必要在冬季重点关注 AFM1 的污染防控，合理规范化青贮饲料和精料的储存和使用。

161

表 2　2016 年我国奶业主产区生鲜乳样品中 AFM1 污染的发生率和分布情况

Table 2　Incidence and distribution of AFM1 contamination in raw milk samples from major milk-producing areas of China in 2016

奶业主产区 Major milk-producing areas	检出样品/总样品数(发生率) No. of positive samples/No. of total samples (incidence)[1)]	检出样品中 AFM1 的分布情况 Distribution of AFM1 in positive samples			最大值 Maximum/ (ng/L)	平均值±标准差 Mean±SD/ (ng/L)
		低于欧盟的限量标准 Below the EU limit standard[2)]	高于欧盟的限量标准但低于中国的限量标准 Above the EU limit standard but below the Chinese limit standard[3)]	高于中国的限量标准 Above the Chinese limit standard[4)]		
河北省 *Hebei* province	4/1 000 (0.40%)	4	0	0	21.0	15.9±2.5
黑龙江省 *Heilongjiang* province	0/1 150 (0)	0	0	0	<5.0	—
河南省 *Henan* province	220/800 (27.5%)	186	34	0	273.0	32.1±28.3
内蒙古自治区 Inner Mongolia province	3/1 080 (0.28%)	3	0	0	46.0	27.0±8.8
山东省 *Shandong* province	7/1 050 (0.67%)	5	2	0	201.0	58.9±30.1
汇总 Total	234/5 080 (4.6%)	198/5 080 (3.9%)	36/5 080 (0.7%)	0/5 650 (0)	273.0	32.5±30.1

1）当样品中 AFM1 浓度低于试剂盒检出限（5 ng/L）时，判定为未检出。A sample was considered negative when its AFM1 concentration did not exceed the quantification limit of 5 ng/L, which was the detection limit of the test kit.

[2] 当样品中 AFM1 浓度在 5～50 ng/L 时，未超出欧盟的限量标准。A sample was considered positive but below the EU limit standard when its AFM1 concentration was 5 to 50 ng/L.

[3] 当样品中 AFM1 浓度在 50～500 ng/L 时，高于欧盟的限量标准但低于中国的限量标准。A sample was considered to be above the EU limit standard but below the Chinese limit standard when its AFM1 concentration was 50 to 500 ng/L.

[4] 当样品中 AFM1 浓度高于 500 ng/L 时，超出了中国的限量标准。A sample was considered to be above the Chinese limit standard when its AFM1 concentration exceeded 500 ng/L.

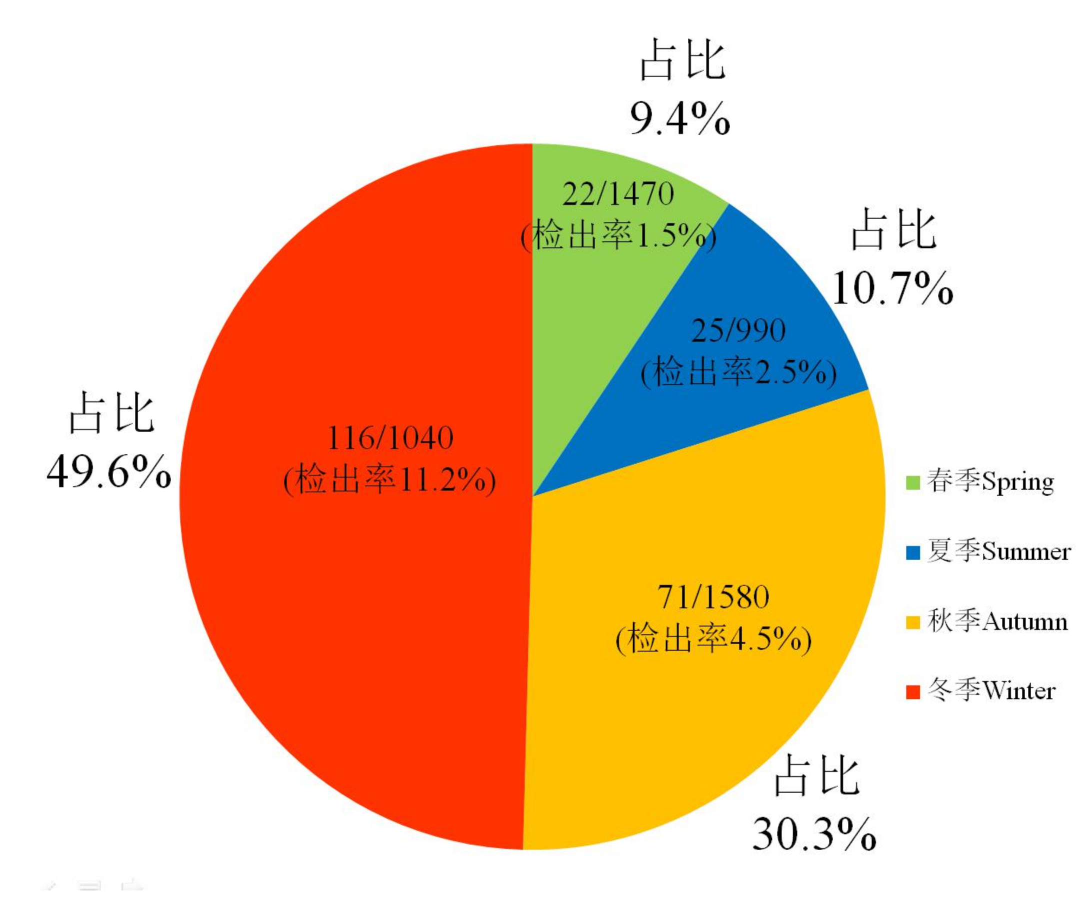


图 1　2016 年我国奶业主产区生鲜乳样品 AFM1 污染的 4 个季度分布情况汇总

Fig 1　Distribution summary of AFM1 contamination in raw milk samples from major milk-producing areas of China during four seasons in 2016

表 3 2013—2015 年中国南部、北部、东北和西部区域生鲜乳中 AFM1 污染情况

Table 3 AFM1 contamination in raw milk for south, north, northeast and west locations of China in 2013 to 2015[9]

年份 Year	区域 Location	检出样品数/样品总数(发生率) No. of positive samples/ No. oftotal samples (incidence)	平均值±标准差 Mean±SD/(ng/L)	浓度范围 Concentration range/(ng/L)	超出欧盟限量标准的样品数（超出率） No. of samples above the EU limit standard （excess rate）
2013	南部 South	53/120 (44.2%)	82 ± 49^{a}	10～240	39 (32.5%)
	北部 North	18/141 (12.8%)	43 ± 49^{a}	10～187	4 (2.8%)
	东北 Northeast	0/105 (0)	$<10^{b}$	<10	0
	汇总 Total	77/366 (21.0%)	69 ± 52^{A}	10～240	43 (11.7%)
2014	南部 South	62/240 (25.8%)	$56\pm51^{a'}$	10～222	26 (10.8%)
	北部 North	92/160 (57.5%)	$31\pm25^{a'}$	10～128	16 (8.9%)
	东北 Northeast	0/80 (0)	$<10^{b'}$	<10	0
	西部 West	22/144 (15.3%)	$47\pm29^{a'}$	182～250	7 (4.9%)
	汇总 Total	178/624 (28.5%)	42 ± 39^{B}	10～250	48 (7.7%)
2015	南部 South	42/200 (21.0%)	$31\pm22^{a''}$	10～97	8 (4.0%)
	北部 North	23/160 (14.4%)	$24\pm27^{a''}$	10～964	3 (1.9%)

东北 Northeast	0/80 (0)	<10[b”]	<10	0
西部 West	14/120 (11.7%)	26±35[a”]	10～144	1 (0.8%)
汇总 Total	79/560 (14.1%)	26±24[C]	10～144	10 (1.8%)

样品中 AFM1 浓度高于 10 ng/L 为检出样品。数据标注不同小写字母（2013 年：a 和 b；2014 年：a’和 b’；2015 年：a”和 b”）表示不同区域的 AFM1 浓度存在显著差异(P<0.05)；数据标注不同大小字母（A、B 和 C）表示 2013、2014 和 2015 年汇总的样品间存在显著差异(P<0.05)。

Positive samples mean the AFM1 concentration in the samples exceeding 10 ng/L. Values of AFM1 concentration with different small letter (2013: a and b; 2014: a’ and b’; 2015: a” and b”) superscripts mean significant difference among different regions (P<0.05); values of AFM1 concentration with different capital letter superscripts mean significant difference among total samples in 2013, 2014 and 2015 (P<0.05).

表 4　不同国家生鲜乳中 AFM1 污染发生率的比较和分析

Table 4　Comparison and analysis of AFM1 contamination incidence in raw milk in different countries

国家 Countries	样品总数 No. of total samples	检出样品数（发生率） No. of positive samples (incidence)	超出欧盟限量标准的样品数(超出率）No. of samples above the EU limit standard （excess rate）	参考文献 Reference
新西兰 New Zealand	303	0 (0)	0 (0)	[12]
英国 United Kingdom	100	3 (3.0%)	0 (0)	[13]
欧盟 EU	2 328	未通报	10 (0.4%)	[25]
中国 China	5 080	234 (4.6%)	36 (0.7%)	本试验
摩洛哥 Morocco	48	13 (27.1%)	4 (8.3%)	[14]
埃及 Egypt	50	19 (38.0%)	10 (20.0%)	[15]
克罗地亚 Croatia	3 736	>1 722 (46.1%)	1 038 (27.8%)	[16]
印度尼西亚 Indonesia	113	65 (57.5%)	0 (0)	[17]
巴基斯坦 Pakistan	107	76 (71.0%)	62 (58.0%)	[18]
黎巴嫩 Lebanon	38	28 (73.7%)	17 (44.7%)	[19]
尼日利亚 Nigeria	100	75 (75.0%)	48 (48.0%)	[20]

苏丹 Sudan	44	42 (95.5%)	35 (83.3%)	[21]
巴西 Brazil	129	129 (100.0%)	18 (14.0%)	[22]
伊朗 Iran	196	196 (100.0%)	158 (80.6%)	[23]
意大利 Italy	25	25 (100.0%)	11 (44.0%)	[24]

克罗地亚生鲜乳中 AFM1 污染发生率是通过参考文献的数据计算得到的数值。The data of AFM1 contamination incidence in raw milk in Croatia was calculated from the reference.

参考文献:

[1] FAO.Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003[S].Rome:Food and Agriculture Organization of the United Nations,2004.
[2] PRANDINI A,TANSINI G,SIGOLO S,et al.On the occurrence of aflatoxin M_1 in milk and dairy products[J].Food and Chemical Toxicology,2009,47(5):984–991.
[3] HUSSAIN I,ANWAR J,ASI M R,et al.Aflatoxin M1 contamination in milk from five dairy species in Pakistan[J].Food Control,2010,21(2):122–124.
[4] ALONSO V A,MONGE M P,LARRIESTRA A,et al.Naturally occurring aflatoxin M1 in raw bulk milk from farm cooling tanks in Argentina[J].Food Additives & Contaminants:Part A,2010,27(3):373–379.
[5] MOTAWEE M M,BAUER J,MCMAHON D J.Survey of aflatoxin M1 in cow,goat,buffalo and camel milks in Ismailia-Egypt[J].Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology,2009,83(5):766–769.
[6] CARRILLO E,VARELA P,FISZMAN S.Influence of nutritional knowledge on the use and interpretation of Spanish nutritional food labels[J].Journal of Food Science,2012,77(1):H1–H8.
[7] ZHENG N,WANG J Q,HAN R W,et al.Survey of aflatoxin M1 in raw milk in the five provinces of China[J].Food Additives & Contaminants:Part B,2013,6(2):110–115.
[8] HAN R W,ZHENG N,WANG J Q,et al.Survey of aflatoxin in dairy cow feed and raw milk in China[J].Food Control,2013,34(1):35–39.
[9] ZHENG N,LI S L,ZHANG H,et al.A survey of aflatoxin M1 of raw cow milk in China during the four seasons from 2013 to 2015[J].Food Control,2017,78:176–182.
[10] CUSATO S,GAMEIRO A H,SANT'ANA A S,et al.Assessing the costs involved in the implementation of GMP and HACCP in a small dairy factory[J].Quality Assurance and Safety of Crops & Foods,2014,6(2):135–139.
[11] CUSATO S,GAMEIRO A H,CORASSIN C H,et al.Food safety systems in a small dairy factory:implementation,major challenges,and assessment of systems' performances[J].Foodborne Pathogens and Disease,2013,10(1):6–12.
[12] NZFSA.Dairy national chemical contaminants programme 2009/10 full year results[EB/OL].2012.www.foodsafety.govt.nz/elibrary/industry/.
[13] UKFSA.Survey of milk for mycotoxins[EB/OL].2001.http://www.food.gov.uk/science/surveillance/fsis2001/milk-myco.
[14] EL MARNISSI B,BELKHOU R,MORGAVI D P,et al.Occurrence of aflatoxin M1 in raw milk collected from traditional dairies in Morocco[J].Food and Chemical Toxicology,2012,50(8):2819–2821.
[15] AMER A A,IBRAHIM M A E.Determination of aflatoxin M1 in raw milk and traditional cheeses retailed in Egyptian markets[J].Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences,2010,2(4):50–53.
[16] BILANDŽIĆ N,BOŽIĆ Đ,ĐOKIĆ M,et al.Seasonal effect on aflatoxin M1 contamination in raw and UHT milk from Croatia[J].Food Control,2014,40:260–264.
[17] NURYONO N,AGUS A,WEDHASTRI S,et al.A limited survey of aflatoxin M1 in milk from Indonesia by ELISA[J].Food Control,2009,20(8):721–724.
[18] IQBAL S Z,ASI M R.Assessment of aflatoxin M1 in milk and milk products from Punjab,Pakistan[J].Food Control,2013,30(1):235–239.
[19] ASSEM E,MOHAMAD A,OULA E A.A survey on the occurrence of aflatoxin M1 in raw

and processed milk samples marketed in Lebanon[J].Food Control,2011,22(12):1856–1858.
[20] OLUWAFEMI F,BADMOS A O,KAREEM S O,et al.Survey of aflatoxin M1 in cows' milk from free-grazing cows in Abeokuta,Nigeria[J].Mycotoxin Research,2014,30(4):207–211.
[21] ELZUPIR A O,ELHUSSEIN A M.Determination of aflatoxin M1 in dairy cattle milk in Khartoum State,Sudan[J].Food Control,2010,21(6):945–946.
[22] PICININ L C A,CERQUEIRA M M O P,VARGAS E A,et al.Influence of climate conditions on aflatoxin M1 contamination in raw milk from Minas Gerais State,Brazil[J].Food Control,2013,31(2):419–424.
[23] MOHAMADI SANI A,NIKPOOYAN H,MOSHIRI R.Aflatoxin M1 contamination and antibiotic residue in milk in Khorasan province,Iran[J].Food and Chemical Toxicology,2010,48(8/9):2130–2132.
[24] MANETTA A C,GIAMMARCO M,DI GIUSEPPE L,et al.Distribution of aflatoxin M1 during Grana Padano cheese production from naturally contaminated milk[J].Food Chemistry,2009,113(2):595–599.
[25] EFSA.Report on the implementation of national residue monitoring plans in the member states in 2013[EB/OL].2015.http://ec.europa.eu/food/safety/docs/cs_vet_med_residues-workdoc_2013_en.pdf.
[26] IQBAL S Z,JINAP S,PIROUZ A A,et al.Aflatoxin M1 in milk and dairy products,occurrence and recent challenges:a Review[J].Trends in Food Science & Technology,2015,46(1):110–119.
[27] 王丽芳,杨健,姚一萍,等.影响生鲜乳质量安全的风险因子——霉菌毒素[J].畜牧与饲料科学,2017,38(9):41–44.
[28] CAMPAGNOLLO F B,GANEV K C,KHANEGHAH A M,et al.The occurrence and effect of unit operations for dairy products processing on the fate of aflatoxin M1:a review[J].Food Control,2016,68:310–329.
[29] XIONG J L,WANG Y M,MA M R,et al.Seasonal variation of aflatoxin M1 in raw milk from the Yangtze River Delta region of China[J].Food Control,2013,34(2):703–706.
[30] GUO L Y,ZHENG N,ZHANG Y D,et al.A survey of seasonal variations of aflatoxin M1 in raw milk in Tangshan region of China during 2012–2014[J].Food Control,2016,69:30–35.
[31] FALLAH A A,RAHNAMA M,JAFARI T,et al.Seasonal variation of aflatoxin M1 contamination in industrial and traditional Iranian dairy products[J].Food Control,2011,22(10):1653–1656.
[32] GOLGE O.A survey on the occurrence of aflatoxin M1 in raw milk produced in Adana province of Turkey[J].Food Control,2014,45:150–155.
[33] RUANGWISES S,RUANGWISES N.Occurrence of aflatoxin M1 in pasteurized milk of the school milk project in Thailand[J].Journal of Food Protection,2009,72(8):1761–1763.
[34] ŠKRBIĆ B,ŽIVANČEV J,ANTIĆ I,et al.Levels of aflatoxin M1 in different types of milk collected in Serbia:assessment of human and animal exposure[J].Food Control,2014,40:113–119.
[35] 熊江林.日粮黄曲霉毒素 B1 向牛奶的转化及其对奶牛生产性能与健康的影响[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2014.
[36] BILANDŽIĆ N,VARENINA I,KOLANOVIĆ B S,et al.Monitoring of aflatoxin M1 in raw milk during four seasons in Croatia[J].Food Control,2015,54:331–337.

Risk Analysis of Aflatoxin M1 Contamination in Raw Milk from China

LI Songli[1,2,3] MIN Li[4] GAO Yanan[2,3] WANG Jiaqi[1,2,3*]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*, *Changsha* 410128, *China*; 2. *Ministry of Agriculture-Milk and Dairy Product Inspection Center* (*Beijing*), *Beijing* 100193, *China*; 3. *State Key Laboratory of Animal Nutrition*, *Institute of Animal Science*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*; 4. *State Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding*, *Institute of Animal Science*, *Guangdong Academy of Agricultural Sciences*, *Guangzhou* 510640, *China*)

Abstract: This survey was performed to analyze the contamination of aflatoxin M1 (AFM1) in raw milk from China. A total of 5 080 raw milk samples were collected in major milk-producing areas of China（*Hebei*, *Heilongjiang*, *Henan*, Inner Mongolia and *Shandong* provinces）, and the AFM1 concentration in those raw milk samples was measured by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) method. The results showed as follows: in 5 080 samples， there were 234 samples were detected AFM1, and the incidence of AFM1 contamination in raw milk was 4.6%. Totally, thirty-six raw milk samples (0.7%) exceeded the EU limit standard (50 ng/L), and none of raw milk samples exceeded the Chinese and American limit standards (500 ng/L). The safety of raw milk in China has continuously improved. In addition, raw milk samples have a higher risk of AFM1 contamination in winter. The incidence of AFM1 contamination was 11.2% in winter, which was much higher than that in spring, summer and autumn (1.5%, 2.5% and 4.5%, respectively). Therefore, it is particularly important to avoid AFM1 contamination in raw milk during the winter, good harvesting practices and strict regulations should be adopted during the winter season in China. This comprehensive study will facilitate future risk analysis and the management of AFM1 contamination in raw milk in China.

Key words: aflatoxin M1; raw milk; season; China

*Corresponding author, professor, E-mail: wang-jia-qi@263.net   (责任编辑　菅景颖)